

Πρακτικά	του	Συνεδρίου	Μάιος	1992
Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ.	Τομ.	XXVIII/2	σελ.	259-273
Bull. Geol. Soc. Greece	Vol.		pag.	
			Αθήνα	1993
			Athens	

ΔΑΚΤΥΛΙΟΣ ΤΟΦΩΝ ΚΕΦΑΛΟΥ (Δ.ΚΩΣ) ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΑΠΟΘΕΣΗΣ, ΘΕΣΗ ΤΟΥ ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΟΥ ΠΟΡΟΥ ΚΑΙ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΤΗΣ ΕΚΡΗΚΤΙΚΗΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ

Π.ΔΑΛΑΜΠΑΚΗ*, Γ.ΒΟΥΓΙΟΥΚΑΛΑΚΗ**

ΣΥΝΟΨΗ

Παρουσιάζεται λεπτομερής περιγραφή των χαρακτηριστικών των οριζόντιων της πυροκλαστικής ακολουθίας του δακτυλίου τόφων της Κεφάλου (κοκκομετρία, πάχη, σύσταση πυροκλαστικών υλικών, στρωματογραφική θέση και εξάπλωση, μηχανισμοί και διευθύνσεις φοράς εναπόθεσης). Με βάση αυτά τα χαρακτηριστικά προσδιορίζεται ο πόρος εκπομπής των πυροκλαστικών στο κέντρο του κόλπου της Κεφάλου. Προτείνεται ένα μοντέλο εξέλιξης της εκρηκτικής διαδικασίας με τέσσερα στάδια και εξάγονται συμπεράσματα για την τεκτονική συμπεριφορά και την παλαιογεωγραφία της περιοχής.

ABSTRACT

Vent areas and caldera collapse structures of the recent highly explosive eruptions of W. Kos region which deposited the Kefalos tuff ring (0.5 Ma) and the Kos non welded ignimbrite (0,14 Ma) have been immersed in the sea. This makes the evaluation of the volcano-tectonic processes very difficult. For this purpose the characteristics (grain size analysis, thickness, composition of pyroclastic components, stratigraphic position and areal distribution, depositional mechanisms) of the Kefalos tuff ring pyroclastic sequence have been studied and presented.

Three principal types of deposits have been recognised and described: i) subordinate perlitic pumice fall deposits with very low dispersion values, ii) pyroclastic flow deposits with characteristic lenticular accumulation of well rounded lithic fragments near vent (lag breccias) and iii) very thick surge deposits with thin bedded sandwave facies forms near vent.

The Kefalos pyroclastic sequence was deposited from highly explosive hydromagmatic eruptions with a continuous influx of seawater into the vent. Lithic fragments ejected from various depths of the substratum indicate a progressive increase in the

P. DALABAKIS & G. VOUGIOUKALAKIS. The Kefalos Tuff Ring (W. Kos): Depositional Mechanisms, Vent Position, and Model of the Evolution of the Eruptive Activity.

* Liakateon 15, 114 74, Athens.

** Institute of Geology and Mineral Exploration, Dept. of Energy Resources, 70 Messogion Str., 115 27, Athens.

explosive contact between magma and seawater.

The vent position has been determined in the sea, in the central part of Kefalos bay, using isopach lines of a basal fall layer and directional characteristics and proximal deposit distribution of the surge and flow units.

Depositional facies characteristics and distribution of pyroclastic deposits as well as the principal tectonic lineaments and the topography of the area lead us to conclude that the present upper limit of the semi-circular depression of Kefalos basin is not related with a caldera rim. The major part of the probable calderic collapse is immersed in the Kefalos bay. Only a west edge of the collapsed structure can be observed in the NW area of the Kefalos basin.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η νήσος ΚΩΣ (Δωδεκάνησα) αποτελεί μία από τις πιο χαρακτηριστικές ζώνες του ενεργού ηφαιστειακού τόξου του Νοτίου Αιγαίου. Η γεωλογία της περιοχής έχει περιγραφεί σε τρεις κλασικές εργασίες (Desio, 1932; Jarrige, 1978; Beseneker & Otte, 1978) ενώ πρόσφατα ολοκληρώθηκε η γεωλογική χαρτογράφηση σε κλίμακα 1:50.000 (Τριανταφύλλης, 1991). Πρόσφατα επίσης άρχισε η μελέτη της ηφαιστειότητας της περιοχής (Keller, 1980, 1982; Keller et al., 1990; Dalabakis, 1988).

Το νησί καλύπτεται κατά τα 2/3 από ηφαιστειακές πυροκλαστικές αποθέσεις και θόλους, δύο κύριων περιόδων έντονης ηφαιστειακής δραστηριότητας. Η πρώτη προσδιορίζεται στο Αν. Μειόκαινο με δυναμικές εκπομπές ιγνιμβριτικών ροών, των οποίων συγκολλημένες αποθέσεις μεγάλου πάχους διατηρούνται κυρίως στο Α και Δ άκρο του νησιού. Ρεύματα και θόλοι λαβών της ίδιας περιόδου εμφανίζονται κυρίως στο κεντρικό τμήμα του νησιού (Βουγιουκαλάκης κ.α., 1991).

Η δεύτερη περίοδος είναι του Πλειο-Τεταρτογενούς και περιλαμβάνει δύο κύρια εκρηκτικά ηφαιστειακά κέντρα καθώς και πολλά μονογενικά εξωθητικά κέντρα. Απουσιάζει ένα καλά προσδιορισμένο κεντρικό ηφαίστειο. Τα μονογενικά κέντρα περιορίζονται στο Δ άκρο του νησιού και αντιπροσωπεύουν υπολειμματικούς κώνους υδρομαγματικών τόφων στις θέσεις των οποίων οικοδομήθηκαν, σύμφωνα με πρόσφατες τεκτονικές γραμμές, δακτυλικοί και ρυολιθικοί θόλοι (2,7-1,6 Ma, Boven et al, 1987). Το πρώτο και παλαιότερο εκρηκτικό κέντρο εντοπίζεται στον κόλπο της Κεφάλου και αντιπροσωπεύει την οικοδόμηση ενός δακτυλίου υδρομαγματικών τόφων και την εξώθηση του ρυολιθικού θόλου του όρους Ζινί (0,5 Ma, Boven et al, 1987). Το δεύτερο και πλέον πρόσφατο ηφαιστειακό κέντρο (0,14 Ma, Stadlbauer et al, 1986) εντοπίζεται (αρκετά υποθετικά μέχρι σήμερα) στο θαλάσσιο χώρο μεταξύ των νοτίων ακτών της Κω και της νήσου Γυαλί και συνδέεται με μία από τις πιο βίαιες και κατακλυσμιαίες φρεατομαγματικές εκρήξεις στη Μεσόγειο (Dalabakis, 1986, Stadlbauer et al, 1986). Οι ηφαιστειακοί πόροι καθώς και τα πιθανά καλδερικά βυθίσματα που προκλήθηκαν από αυτές τις εκρήξεις βρίσκονται σήμερα κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας, καλυμμένοι από θαλάσσια ιζήματα. Αυτό κάνει πολύ δύσκολη την εκτίμηση των χαρακτηριστικών και των διαδικασιών εξέλιξης των ηφαιστειακών και ηφαιστειο-τεκτονικών γεγονότων στην περιοχή.

Στόχος αυτής της εργασίας είναι να προσδιορίσει τα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά για την έκρηξη της Κεφάλου, με λεπτομερή μελέτη της πυροκλαστικής ακολουθίας του δακτύλιου τόφων που απέθεσε αυτή η έκρηξη. Για το λόγο αυτό έγινε λεπτομερής γεωλογική χαρτογράφηση (σε κλίμακα 1:5.000) της λεκάνης Κεφάλου και

μελετήθηκαν τα χαρακτηριστικά όλων των οριζόντων της πυροκλαστικής ακολουθίας (κοκκομετρία, πάχη, μαγματική σύσταση, στρωματογραφική θέση, μηχανισμοί απόθεσης, εναλλαγές στην ανάπτυξη των πυροκλαστικών φάσεων στο χώρο, διευθύνσεις φοράς εναπόθεσης).

ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΚΕΦΑΛΟΥ

Όλη η πυροκλαστική ακολουθία του δακτυλίου τόφων της Κεφάλου, μπορεί να παρατηρηθεί στο χείλος της αμφιθεατρικού σχήματος λεκάνης της Κεφάλου (Εικ. 1). Με εξαίρεση του ΝΔ άκρου της λεκάνης, το όριο του σχηματισμού συμπύπτει και καθορίζεται από το όριο του τοπογραφικού χείλους της λεκάνης.

Η πυροκλαστική ακολουθία αποτίθεται πάνω σε μία επίπεδη μονοκλινή επιφάνεια με μέγιστο ύψος 120 μ. στο ΝΔ άκρο και 60 μ. στο ΒΑ. Το προεκρηκτικό υπόβαθρο αποτελείται από:

- Ασβεστολιθικά ιζήματα ρηχής θάλασσας του Κάτω Μειοκαίνου (Jarrige, 1978; Τριανταφύλλης, 1991) που εμφανίζονται στο νοτιότερο τμήμα της περιοχής, σε επαφή με τις λάβες του θόλου Ζινί.

- Ασβεστολιθικά, μαργαϊκά και αργιλικά ιζήματα, ρηχής θάλασσας και λιμναία, του Μέσου Μειοκαίνου, τα οποία εμφανίζονται στο βόρειο και κεντρικό τμήμα της λεκάνης.

- Συγκολλημένος ιγνιμβρίτης: πρόκειται για πυροκλαστικά ρεύματα συγκολλημένης τραχειτικής κίσηρης (Keller, 1982). Αποτίθεται την αρχή του Ανω Μειοκαίνου (10 Ma; Bellon et al., 1979) σε λιμναίο περιβάλλον (πάνω σε λιμναίες αργίλους). Διακρίνονται πολλές ενότητες ροής ενώ χαρακτηριστική είναι η δευτερογενής εξαλλοίωση σε αργιλικά ορυκτά χαμηλών θερμοκρασιών. Οι μεγαλύτερες εμφανίσεις είναι στο ΒΑ άκρο της λεκάνης.

- Ασβεστολιθικά, μαργαϊκά, αργιλικά ιζήματα και εβαπορίτες, ρηχής θάλασσας και λιμναία, του Ανω Μειοκαίνου - Πλειοκαίνου (Jarrige, 1978; Τριανταφύλλης, 1991) εμφανίζονται σε όλο το δυτικό τμήμα της λεκάνης.

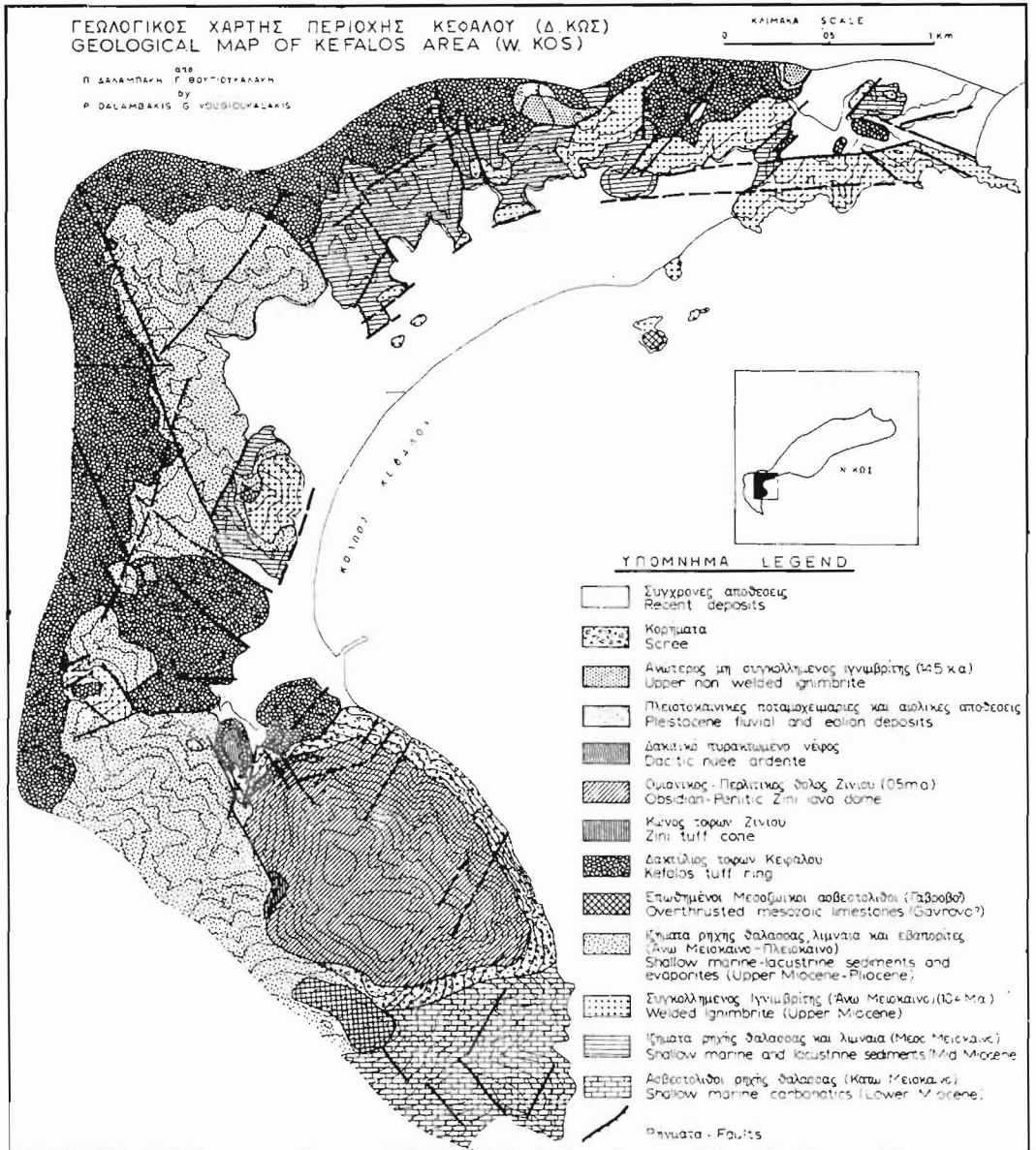
- Ράχη Μεσοζωικών ασβεστολίθων παρατηρούνται επωθημένα ή ολισθημένα πάνω στους σχηματισμούς του Μέσου - Ανω Μειοκαίνου (Jarrige, 1978; Τριανταφύλλης, 1991).

Τα ιζήματα πάνω στα οποία αποτίθενται τα πυροκλαστικά της Κεφάλου, είναι άργιλοι ή κροκκαλοπαγή δελταϊκού περιβάλλοντος. Ανάμεσα σε αυτά και τα πυροκλαστικά δεν παρατηρούνται ίχνη διάβρωσης ούτε παλαιοεδάφη. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα, ότι την περίοδο που εκδηλώθηκε η έκρηξη, η περιοχή καλυπτόταν από τα ύδατα αβαθούς λίμνης ή λιμνοθάλασσας.

Μέσα στη λεκάνη της Κεφάλου, τα προϊόντα του δακτυλίου τόφων εμφανίζονται στην κορυφή του λόφου Μουσώνος, στο κέντρο της λεκάνης, και στο νοτιο-δυτικό άκρο της λεκάνης. Εδώ, η βάση της ακολουθίας εμφανίζεται σε λίγα σημεία. Γενικά τα όριά της καθορίζονται από ρήγματα και εμφανίζει έντονες ασυμφωνίες με τους υποκείμενους σχηματισμούς.

Στο νότιο άκρο της λεκάνης εμφανίζεται ο θόλος Ζινί καθώς και μία μικρής έκτασης εμφάνιση κώνου τόφων του ίδιου θόλου. Ο θόλος οικοδομείται μετά την απόθεση των πυροκλαστικών της Κεφάλου γιατί τα διαπερνά, τα μετακινεί και τα ανορθώνει.

Σημειώνεται επίσης, η ύπαρξη μιας μικρής εμφάνισης δακτιτικού πυρακτωμένου νέφους, ΒΔ του θόλου Ζινί, που αποτέθηκε πάνω στα πυροκλαστικά της Κεφάλου και του κώνου τόφων. Από τις παρατηρήσεις στη δομή των αποθέσεων, συμπεραίνεται ότι το κέντρο προέλευσής τους πρέπει να αναζητηθεί στα νότια ή νοτιο-δυτικά. Δεν διαθέτουμε όμως στοιχεία για ένα ικανοποιητικό προσδιορισμό της προέλευσης και του χρόνου απόθεσης αυτών των προϊόντων.



Εικ. 1.
Fig. 1.

Πάνω από τα πυροκλαστικά της Κεφάλου εμφανίζονται Πλειστοκαινικές αιολικές και ποταμοχειμάρειες αποθέσεις άμμων. Ακολουθεί η απόθεση του μη συγκολλημένου ιγνιμβρίτη που εμφανίζεται τόσο στο βόρειο όσο και στο δυτικό χείλος της λεκάνης.

Η γένεση της λεκάνης της Κεφάλου είχε αποδοθεί από προηγούμενες εργασίες σε καλδερικό βύθισμα το οποίο προκλήθηκε από την έκρηξη της Κεφάλου. Η μελέτη της τεκτονικής της περιοχής, των ασυμφωνιών και των μεταπτώσεων κατά μήκος των ρηγμάτων, δεν επιβεβαιώνει μια τέτοια υπόθεση. Η λεκάνη φαίνεται να δημιουργείται από μια εφελκυστική τεκτονική, ενεργή έως σήμερα (Simeakis & Vougioukalakis, 1991). Τρία κύρια συστήματα ρηγμάτων παρατηρούνται στην περιοχή. Ένα Β.ΒΔ-Ν.ΝΑ διεύθυνσης με κυριαρχούσα τη διεύθυνση Β160°. Ένα δεύτερο σύστημα ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης με κυριαρχούσα τη διεύθυνση Β30° και ένα τρίτο Α-Δ διεύθυνσης. Και στα τρία συστήματα παρατηρούνται μεγάλες κλίσεις 70°-80° ενώ μικρές είναι οι μεταπτώσεις, της τάξης των 2-5 μ. Εξάιρεση αποτελεί το ΝΔ τμήμα της λεκάνης όπου καταγράφονται μεταπτώσεις της τάξης των 20-80 μ. Να σημειωθεί τέλος η παρατήρηση μιας τάσης "κύρτωσης" των ρηγμάτων στις ταπεινότερες περιοχές της λεκάνης. Αυτή η τάση ανάπτυξης δακτυλιοειδών ρηγμάτων παρατηρείται κύρια κοντά στις Β-ΒΔ ακτές και είναι πιθανόν να οφείλεται στον επηρεασμό τους από καλδερικό βύθισμα.

ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ ΤΩΝ ΑΠΟΘΕΣΕΩΝ ΤΟΥ ΔΑΚΤΥΛΙΟΥ ΤΟΦΩΝ

Σύμφωνα με την συνθετική στρωματογραφική στήλη της πυροκλαστικής ακολουθίας της Κεφάλου (Εικ. 2), οι πυροκλαστικές αποθέσεις κατανέμονται σε τρεις κύριες ενότητες. Οι αποθέσεις της κατώτερης ενότητας αντιπροσωπεύουν το εκρηκτικό άνοιγμα του ηφαιστειακού πόρου και την αρχική ηφαιστειακή δραστηριότητα χωρίς αλληλεπίδραση με νερό εξωτερικής προέλευσης. Η ενδιάμεση ενότητα αποτελείται από ρυθμικά επαναλαμβανόμενες αποθέσεις πυροκλαστικών ρευμάτων, χαρακτηριστικών της αλλαγής στον τύπο της ηφαιστειακής δραστηριότητας από μαγματική σε υδρομαγματική. Η ανώτερη ενότητα, η οποία κοντά στο σημείο εκπομπής αποτελεί σχεδόν το σύνολο του πυροκλαστικού σχηματισμού, χαρακτηρίζεται από πολυάριθμες, ρυθμικά επαναλαμβανόμενες ξηρές μεγακυματικές αποθέσεις (dry surges) με ενδιστρωμένες αποθέσεις οριζόντων στάχτης πτώσης (ash fall layers).

Αναλυτικότερα εμφανίζονται:

A: ΚΑΤΩΤΕΡΗ ΕΝΟΤΗΤΑ

Ορίζοντας 1 : Λατυποπαγές έκρηξης (Explosion Breccia). Πρόκειται για μία χονδρόκοκη, χαοτικής δομής απόθεση η οποία εμφανίζεται σε ένα μόνο σημείο (500 μ. ΝΔ του λιμανιού του Καμαριού) στη βάση της ακολουθίας. Περιέχει κυρίως αποστρωγγυλωμένα θραύσματα από τα πιο επιφανειακά στρώματα του προεκρηκτικού υποβάθρου (>70% συγκολλημένος ιγνιμβρίτης Μειοκαίνου) ($d_{max}=1\mu.$), έντονα εξαλλοιωμένα. Η απουσία θραυσμάτων νεανικού (juvenile) μάγματος οδηγεί στην υπόθεση ότι πρόκειται για απόθεση έκρηξης που προκαλούν τα μαγματικά αέρια εκτινάσσοντας τα υπερκείμενα πετρώματα και ανοίγοντας έτσι τον ηφαιστειακό πόρο. Η παρουσία, σχετικά περιορισμένης, κύριας μάζας από εξαλλοιωμένη στάχτη και λιθάρια είναι ενδεικτική της απόστασης της εμφάνισης από το σημείο εκπομπής. Σύμφωνα με τους Wohletz & Sheridan (1983), τέτοιες αποθέσεις εμφανίζονται κοντά στον πόρο εξόδου, στη βάση των δακτυλίων και κώνων τόφων.

Ορίζοντας 2: Πυρακτωμένη στοιβάδα (Hot Avalanche). Απόθεση με άστρωτη, χαοτική δομή και πάχη που ποικίλουν μεταξύ 0.5 και 2 μ. Είναι πλούσια σε λεπτόκοκκη κύρια μάζα εντός της οποίας διευθετούνται ογκώδη, γωνιώδη έως ελαφρώς στρογγυλωμένα θραύσματα περλίτη ($d_{max}=40\text{cm}$) και σπάνια θραύσματα λιθικών ($d_{max}=50\text{cm}$). Χαρακτηριστικό της απόθεσης, η οποία εμφανίζεται στην κορυφή του λοφίσκου Μουσώνος και 500 μ. ΒΔ αυτού, στη βάση της τομής της Κεφάλου, είναι η παρουσία μεγάλου αριθμού απανθρακωμένων τεμαχών ξύλου, ενδεικτικών της θερμοκρασίας απόθεσης.

B: ΕΝΔΙΑΜΕΣΗ ΕΝΟΤΗΤΑ

Ορίζοντας 3: Πρόκειται για χαρακτηριστικές υποενότητες πυροκλαστικών ροών κίσηρης και στάχτης (pumice and ash flows). Η βάση των αποθέσεων (πάχος 0.6-1 μ.) (3a) αποτελείται από πλακώδη τεμάχια και λιθάρια ($d_{max}=15\text{cm}$) ελάχιστα φυσαλιδοποιημένης (vesiculated) περλιτικής κίσηρης με κανονική διαβάθμιση. Τα θραύσματα κίσηρης, καλώς προσανατολισμένα, αλληλεπίθενται διατηρώντας ελαφρά κλίση (10° περίπου) προς τη διεύθυνση έλευσης της πυροκλαστικής ροής. Οι κατώτερες αυτές αποθέσεις μεταβαίνουν προοδευτικά προς τα πάνω σε παχειές αποθέσεις πυροκλαστικών ροών στάχτης (3b), δείχνοντας έτσι ότι προέρχονται από την αρχική πυροκλαστική ροή και έχουν εναποτεθεί στη βάση της σύμφωνα με μία δυναμική διαδικασία βαρυτικού διαχωρισμού κατά τη ροή. Τα κύρια χαρακτηριστικά των τμημάτων 3b είναι: έντονη παρουσία κύριας μάζας από στάχτη (>75% του ολικού αποθέματος), μικρός αριθμός γωνιωδών θραυσμάτων κίσηρης ($d_{max}=20\text{ cm}$), σχετικά περιορισμένος αριθμός λιθικών (10-15%) διαβαθμισμένα κανονικά στη βάση και στην κορυφή της απόθεσης. Παρατηρείται επίσης μεγάλος αριθμός γωνιωδών θραυσμάτων περλιτικού οφιανού με χαρακτηριστικές επιφάνειες απότομης ψύξης.

Ορίζοντας 4: Κίσηρη πτώσης (pumice fall). Κοντά στην Κεφαλο το πάχος της ποικίλει μεταξύ 80 και 50 cm. Είναι καλώς ενστρωμένη με κανονική διαβάθμιση των μαγματικών και λιθικών συστατικών της. Αποτελείται κύρια από γωνιώδη λιθάρια ($d_{max}=5\text{ cm}$) ελαφρώς φυσαλιδοποιημένης περλιτικής κίσηρης μέσα σε περιορισμένη λεπτόκοκκη κύρια μάζα (=10-15%) στάχτης. Η συμμετοχή λιθικών θραυσμάτων του προφαιστειακού, επιφανειακού κυρίως, υποβάθρου είναι μικρή (=10%) ενώ σταθερή είναι η παρουσία γωνιωδών θραυσμάτων περλιτικού οφιανού. Τα καταγραφέντα πάχη της απόθεσης είναι τα μέγιστα (ως προς τα αρχικά εναποτεθέντα), αφού σε πολλά σημεία παρατηρείται ανώμαλη κατανομή τους ή απουσιάζει εντελώς ο ορίζοντας λόγω συνεκρηκτικής διάβρωσης από τις πυροκλαστικές ροές που ακολουθούν. Αποτέλεσμα αυτού είναι η περιορισμένη φαινόμενη έκταση διασποράς (περίπου 5 km^2) γύρω από το πιθανό σημείο εκπομπής.

Ορίζοντας 5: Εδαφικές μεγακυματικές αποθέσεις (ground surge deposits). Αποθέσεις αποτελούμενες κατ'εξοχήν από λεπτομερή υλικά (λιθάρια και στάχτη >95%). Παρουσιάζουν υψηλό βαθμό ταξιθέτησης με πολύ χαρακτηριστικές διασταυρούμενες στρώσεις και παρουσία θινών και αντιθινών. Βρίσκονται στη βάση των πυροκλαστικών ενοτήτων ροής 3 και 6 προερχόμενες απ'ευθείας από τον κρατήρα σύμφωνα με μία διαδικασία τοποθέτησης μέσω ενός, πλευρικός εκτονούμενου τυρβώδους ηφαιστειακού νέφους.

Ορίζοντας 6: Χαοτικές ροές στάχτης (massive ash flows). Αποθέσεις λεπτομερούς πυροκλαστικού υλικού (στάχτη κύρια, λιθάρια, λιθικά και θραύσματα γυαλιού). Κατανέμονται σε διάφορες υποενότητες (πάχη 1-2μ.), το σύνολο των οποίων μπορεί να χαρακτηριστεί ως μία ενότητα ροής (flow unit). Πρόκειται για αποθέσεις χωρίς διαβάθμιση (grading) και κακή ταξιθέτηση (sorting) των συστατικών τους, νεανικών και λιθικών. Σε μία χαώδη κύρια μάζα στάχτης (>80% της ολικής απόθεσης) υπάρχουν αδρά διαβαθμισμένες

ζώνες εντός των οποίων παρατηρούνται ασυνεχείς, γραμμικές ή φακοειδείς αναπτύξεις από μεγάλα, αποστρογγυλωμένα θραύσματα κίσηρης και λιθικών (6a). Τα θραύσματα αυτά είναι ελαφρώς προσανατολισμένα, λόγω του τρόπου εναπόθεσης από μία, υψηλής συγκέντρωσης, στρωματοειδή ροή. Τα λιθικά θραύσματα κατανέμονται κύρια στη βάση και στο κέντρο της απόθεσης με τη μορφή φακοειδών ενστρώσεων λατυπών επιβράδυνσης (lag breccias) (Druitt, 1985). Η κατανομή αυτή μπορεί να οφείλεται σε φαινόμενα προοδευτικού διαχωρισμού λόγω βαρύτητας κατά τη διάρκεια της ροής ή από διαφορική ολίσθηση λόγω βαρύτητας της κορεσμένης σε νερό τέφρας (Heiken, 1971). Παρατηρείται έτσι προοδευτική ελάτωση έως εξαφάνιση των βαρύτερων θραυσμάτων όσο απομακρυνόμαστε από το σημείο εκπομπής. Τα πιο απομακρυσμένα προϊόντα μίας τέτοιας διαδικασίας είναι οι αποθέσεις ρευμάτων στάχτης.

C: ΑΝΩΤΕΡΗ ΕΝΟΤΗΤΑ

Ορίζοντες 7: Μεγακυματικές αποθέσεις (surges). Αποτελούν το κύριο μέρος της πυροκλαστικής τομής της Κεφάλου με συνολικό πάχος μεγαλύτερο των 70 μ. Στο εσωτερικό τους παρατηρούνται αποθέσεις πτώσης στάχτης και λιθαριών (8). Κύριο μορφολογικό χαρακτηριστικό είναι η ποικιλία των μορφών ανάπτυξης των αποθέσεων. Κοντά στο σημείο εκπομπής επικρατούν οι κυματοειδείς φάσεις (sandwaves facies) (7a), θίνες και αντιθίνες (dunes and antidunes) (500 μ. ΒΔ του θόλου Ζινί) ενώ όσο απομακρυνόμαστε κυριαρχούν οι χασοτικές και επιπεδόμορφες φάσεις (massive and planar facies) (7b).

ΚΩΝΟΣ ΤΟΦΩΝ ΟΡΟΥΣ ΖΙΝΙ (ZINI TUFF CONE)

Πρόκειται για το δεύτερο σημαντικό ηφαιστειακό οικοδόμημα υδρομαγματικής εκρηκτικής δραστηριότητας στην περιοχή της Κεφάλου. Ένα πολύ μικρό τμήμα των εξωτερικών πρηνών του διατηρείται σήμερα "κολλημένο" κυριολεκτικά στη ΒΔ παρειά του θόλου Ζινί. Το ορατό πάχος των αποθέσεων δε ξεπερνά τα 60 μ. χωρίς να γνωρίζουμε τη βάση του οικοδομήματος. Το κατώτερο τμήμα της τομής (=10 μ.) αποτελείται από σειρά λεπτόκοκκων ενστρωμένων αποθέσεων στάχτης πτώσης. Το ανώτερο τμήμα (>45 μ.) αποτελείται από μία ακολουθία υγρών μεγακυματικών αποθέσεων (wet surges). Σε αντίθεση με τις αντίστοιχες ξηρές αποθέσεις (dry surges) του δακτυλίου τόφων της Κεφάλου, η απόσταση μετακίνησής τους από το σημείο εκπομπής είναι πολύ μικρή, ενώ οι κλίσεις των αποθέσεων πολύ μεγαλύτερες (=20-25°). Τα θραύσματα περλιτικής κίσηρης με διάμετρο μεγαλύτερη των 2 cm είναι σπάνια. Τα λιθικά θραύσματα είναι περιορισμένα και κατανέμονται κατά τρόπο ακανόνιστο. Σταθερή είναι η παρουσία γωνιωδών βομβών οφειανικού περλίτη. Το μέγεθος τους ξεπερνά συχνά τα 35 cm ενώ χαρακτηριστικές είναι οι λείες επιφάνειες δευτερογενούς κατακερματισμού λόγω απότομης ψύξης.

Τα παραπάνω μορφολογικά χαρακτηριστικά των αποθέσεων είναι ενδεικτικά δυναμικών εκρηκτικών αντιδράσεων κατά την απότομη επαφή του ανερχόμενου ρυολιθικού μάγματος με νερό από εξωτερική πηγή (επιφανειακός ή αβαθής υπόγειος ταμιευτήρας).

ΘΟΛΟΣ ΖΙΝΙ.

Η εξάντληση του εισερχόμενου στον ηφαιστειακό αγωγό νερού, μεταβάλλει τον τύπο της ηφαιστειακής δραστηριότητας η οποία από εκρηκτική υδρομαγματική μετατρέπεται σε μαγματική εξωθητική. Οικοδομείται ένας θόλος του όρους Ζινί, κατασκευάζοντας το

μεγαλύτερο τμήμα του κώνου των τόφων.

Η εξώθηση του ρυολιθικού περλιτικού θόλου Ζινί αποτελεί το πιο σημαντικό μετά-Κεφάλος ηφαιστειακό επεισόδιο. Ο θόλος, επιφανειακής έκτασης 1.5 Km², οικοδομείται κατά μήκος ρηγμάτων BBD-NNΑ διεύθυνσης. Αποτελείται από τρεις ομοκεντρικούς λιθολογικούς δακτύλιους. Ο κεντρικός και πιο εκτεταμένος δακτύλιος είναι ένας καθαρός περλίτης πολύ καλής ποιότητας (υψηλός βαθμός διόγκωσης-εκμετάλλευση εν εξελίξει). Ο ενδιάμεσος δακτύλιος είναι οψιανικός περλίτης με χαρακτηριστικούς προσανατολισμένους ορίζοντες διαφανών θραυσμάτων οψιανών. Ο εξωτερικός δακτύλιος (μικρής έκτασης) αποτελείται από ένα θρυματοποιημένο κοκκινωπό σχηματισμό από βοτρυοειδή περλιτικά θραύσματα και θραύσματα οψιανού. Η ηλικία του θόλου προσδιορίσθηκε με ραδιοχρονολόγηση K/Ar επί ολικού πετρώματος σε 0.55 M.a (Boven et al., 1987). Πιστεύουμε εν τούτοις ότι η ηλικία του θόλου έχει υπερεκτιμηθεί λόγω μεγάλων απωλειών ραδιογενικού Ar.

Στα τελευταία στάδια της στερεοποίησης του υψηλού ιξώδους ρυολιθικού μάγματος σημειώνεται έκρηξη στη ΒΔ παρεία του θόλου. Η ισχυρή εκτόνωση των εγκλωβισμένων μαγματικών αερίων προκαλεί την έντονη θρυματοποίηση του ρυολιθικού νεανικού μάγματος. Το εκρηκτικό νέφος, επιφορτισμένο με ημιστερεοποιημένους ογκολίθους (d_{max}=90cm), εγκατακρημνίζεται και μετακινείται προς τα κατάντη με τη μορφή μίας στροβιλώδους μονογενικής πυρακτωμένης στοιβάδας (hot avalanche) (Bardintzeff, 1985). Διατηρείται στο ανώτερο δυτικό τμήμα του θόλου και πάνω από τις αποθέσεις του κώνου τόφων.

ΧΗΜΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΜΑΓΜΑΤΟΣ

Από σειρά χημικών αναλύσεων επί ολικού πετρώματος και υπολειμματικού γυαλιού της κύριας μάζας, θραυσμάτων κίσηρης της Κεφάλου και του θόλου Ζινί, προκύπτει ότι: Τα ηφαιστειακά προϊόντα των εκρήξεων της Κεφάλου είναι υπερόξινοι, μεσοκαλιούχοι ρυόλιθοι. Το μάγμα βρίσκεται στα τελευταία στάδια διαφοροποίησής του. Ο χημισμός τους παραμένει σταθερός από την έναρξη μέχρι το τέλος των ηφαιστειακών επεισοδίων. Παρατίθενται οι τιμές συγκέντρωσης των κύριων στοιχείων από δύο αντιπροσωπευτικά δείγματα:

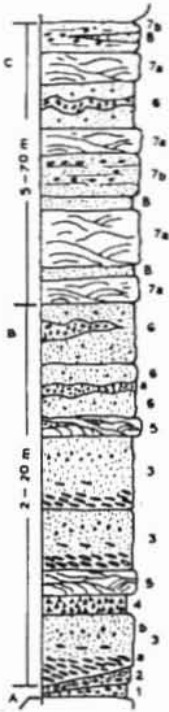
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O _t
CKF1	74.63	0.12	12.84	0.00	0.52	0.05	0.00	0.31	3.38	4.30	3.93
MTZ1	76.75	0.11	12.85	0.63	0.26	0.03	0.08	0.27	3.71	4.15	3.01

CKF1: Θραύσμα κίσηρης πυροκλαστικής τομής Κεφάλου

MTZ1: Περλίτης κεντρικού δακτυλίου θόλου Ζινί

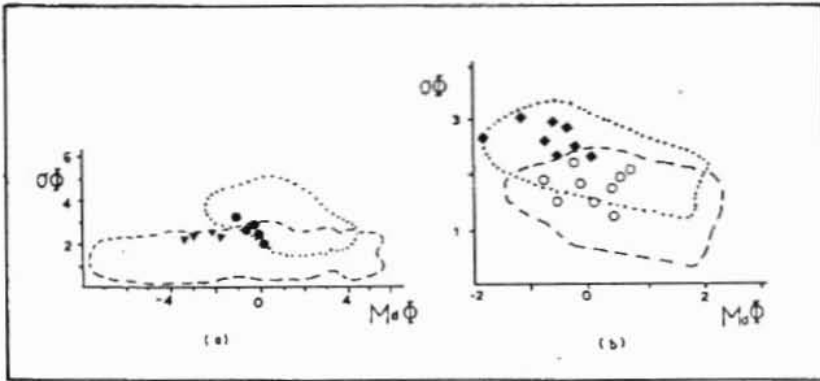
ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΥΔΡΟΜΑΓΜΑΤΙΚΩΝ ΑΠΟΘΕΣΕΩΝ

Οι κοκκομετρικές μέθοδοι (Fisher, 1964; Walker & Croasdale, 1971; Sparks, 1976; Bardintzeff & Miskovsky, 1984) οι οποίες εφαρμόζονται στα πυροκλαστικά ηφαιστειακά προϊόντα, χρησιμοποιούνται ευρύτατα για την ερμηνεία των δυναμικών ηφαιστειακών φαινομένων. Οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι: η μέση διάμετρος Mdφ (median diameter, διάμετρος στο 50% της σωρευτικής καμπύλης) και η ετερομετρία ή ταξιθέτηση (sorting) σφ=(φ84-φ16)/2, εκφρασμένη σε μονάδες φ (phi) όπου φ=-log₂d (d σε mm) (Inman, 1952).



Εικ. 2. Συνθετική στρωματογραφική στήλη πυροκλαστικών αποθέσεων Κεφάλου.

Fig. 2. Composite stratigraphic column of Kefalos pyroclastic deposits.



Εικ. 3. (α): Αποθέσεις πτώσης (τρίγωνα) και ροής (κύκλοι). Σημειώνονται τα πεδία πτώσης (παύλες) και ροής (τελείες) σύμφωνα με τον Walker (1971).

(β): Μεγακυματικές αποθέσεις άστρωτες (ρόμβοι) και λεπτόκοκκες (κύκλοι). Σημειώνονται τα πεδία άστρωτων μεγακυματικών αποθέσεων ρυολιθικής σύστασης (παύλες) και αυτών της έκρηξης του ηφαιστείου St Hellens το 1980 (τελείες).

Fig. 3. (a): Fall (triangles) and flow (cycles) deposits. The fields of fall (dashed line) and flow (dots) deposits after Walker (1971) are reported. (b): Massive (diamonds) and fine-grained (open cycles) surge deposits. The fields of massive rhyolitic surges (dashed line) and those of the St Hellens 1980 eruption (dots) are reported.

Στα πυροκλαστικά προϊόντα της Κεφάλου μελετήθηκαν κοκκομετρικά τρεις κύριοι τύποι υδρομαγματικών αποθέσεων. Οι αποθέσεις κίσηρης πτώσης, τα πυροκλαστικά ρεύματα στάχτης και οι μεγακυματικές αποθέσεις.

Εκτός αυτών των κοκκομετρήσεων, που χρησιμοποιήθηκαν για την τοποθέτηση των αποθέσεων σε προτεινόμενα γενικευμένα διαγράμματα (εικ.3), πραγματοποιήθηκε μία πλήρης σειρά κοκκομετρικών μετρήσεων επί του συνόλου των ολικών αποθέσεων της τομής της Κεφάλου (εικ.4). Η μέθοδος αυτή επιτρέπει την προσεγγιστική εκτίμηση της εκρηξιμότητας της ηφαιστειακής διαδικασίας και της κατανομής των νεανικών και λιθικών συστατικών. Καθίσταται φανερό από τα κατακόρυφα προφίλ των διαφόρων παραμέτρων ότι ο βαθμός θρυμματοποίησης των πυροκλαστικών συστατικών (εκφρασμένος σε ποσοστό κλάσματος μικρότερο των 2 mm διάμετρο) είναι μικρός τόσο στις κατώτερες αποθέσεις πτώσης ($-3.8 < \Delta \phi < -1.5$) όσο και στις ενδιάμεσες λατυποπαγόμορφες αποθέσεις ροής ($-0.9 < \Delta \phi < +0.3$). Οι μέγιστες τιμές του βαθμού θρυμματοποίησης (80-90% των ολικών αποθέσεων <2 mm) αντιστοιχούν στις ξηρές μεγακυματικές αποθέσεις. Το γεγονός αυτό είναι σύμφωνο με τη δυναμική προέλευση των αποθέσεων αυτών σαν αποτέλεσμα της πιο ενεργητικής αλληλεπίδρασης νερού/μάγματος.

ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΟΥ ΠΟΡΟΥ

Ο εντοπισμός του σημείου εκπομπής μίας πυροκλαστικής έκρηξης, κύρια όταν το κεντρικό τμήμα του ηφαιστείου έχει εγκατακρημνισθεί, γίνεται έμμεσα. Η πιο κλασσική μέθοδος είναι αυτή του χάρτη ισοπαχών των αποθέσεων πτώσης λαμβάνοντας υπ'όψη ότι τα συνολικά πάχη των αποθέσεων αυτών έχουν τις μέγιστες τιμές πλησίον του σημείου εκπομπής ενώ μειώνονται εκθετικά όσον απομακρυνόμαστε απ'αυτό (Thorarinnsson, 1954). Η πιο χαρακτηριστική μορφή ανάπτυξης μίας απόθεσης εναέριας πτώσης είναι αυτή της ριπιδοειδούς κατανομής με το κορυφαίο στο σημείο εκπομπής ή κοντά σε αυτό.

Από το χάρτη ισοπαχών του ορίζοντα 4 (εικ.5), φαίνεται ότι το μέγιστο ορατό πάχος αυτού είναι 80 cm στο μέσο του βυθίσματος ενώ μειώνεται δραστικά τόσο προς τα ΒΔ όσο και προς τα ΒΑ. Αποδεικνύεται πρακτικά αδύνατο να χαραχθούν οι ισοπαχείς καμπύλες πέραν των 10 cm πάχους λόγω συνεκρηκτικής διάβρωσης. Από τη μορφή των καμπυλών ενδεικτικά μόνο μπορεί να συναχθεί η θέση του ηφαιστειακού πόρου, το οποίο τοποθετείται στο κέντρο του κόλλου της Κεφάλου.

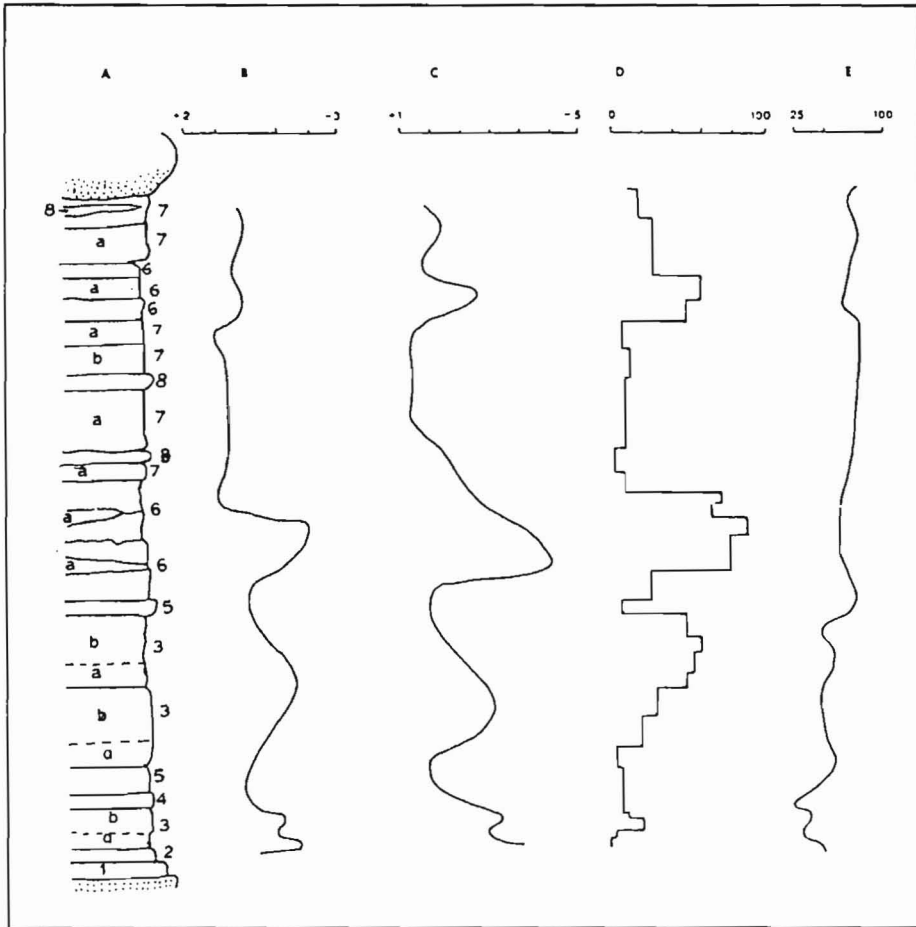
Η θέση του ηφαιστειακού πόρου στο σημείο αυτό επιβεβαιώνεται και από τις ακόλουθες παρατηρήσεις:

α) Την ύπαρξη μεγάλου πάχους μεγακυματικών αποθέσεων κοντά στο Καμάρι με κύριο χαρακτηριστικό την ανάπτυξη κυματοειδών μορφών (Wohletz & Sheridan, 1983) ενδεικτικό των περιοχών εγγύς του σημείου εκπομπής.

β) Τις διευθύνσεις ροής των πυροκλαστικών ρευμάτων και των μεγακυματικών αποθέσεων. Αυτές προσδιορίστηκαν (Εικ. 5) με βάση τη μελέτη των διευθύνσεων των θινόμορφων δομών καθώς και αυτών που υποδεικνύονται από την αλληλεπίθεση των πλακωδών θραυσμάτων περιλιτικής κίσηρης στις κατώτερες ενότητες ροής.

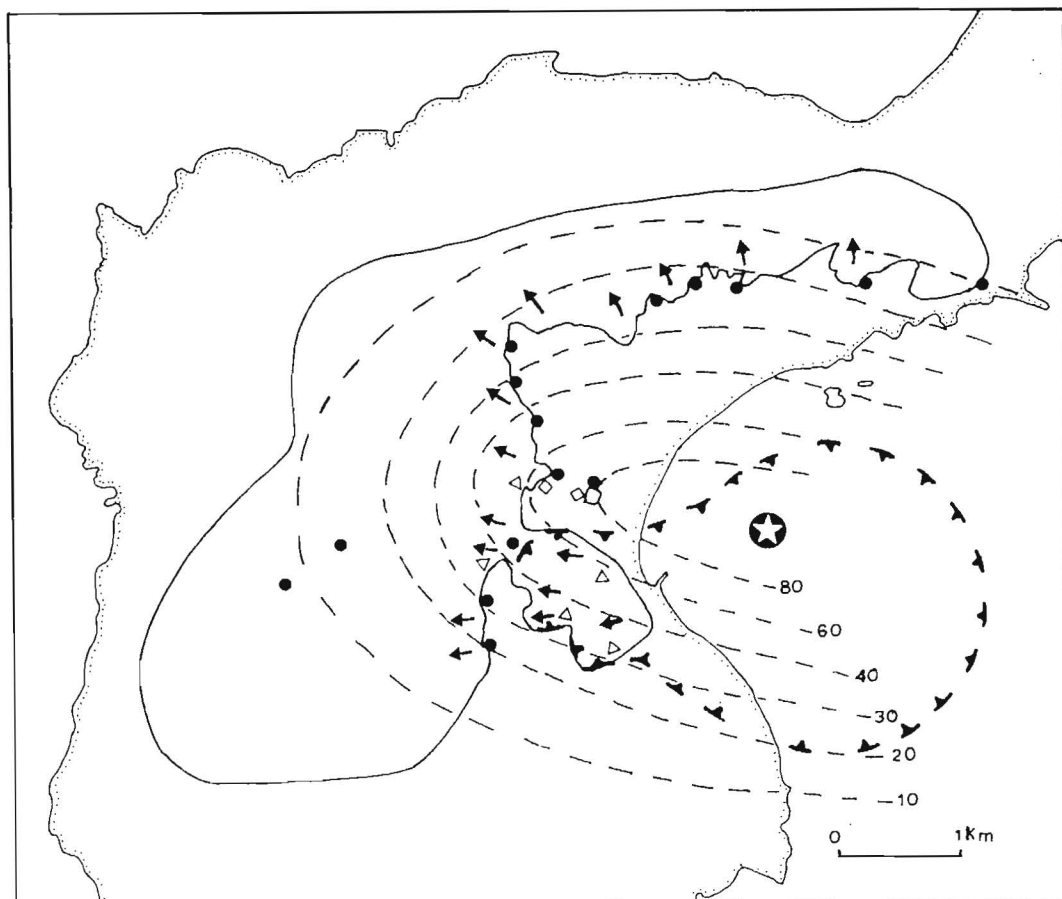
γ) Την κατανομή στο χώρο των λατύπων επιβράδυνσης (6a) και της πυρακτωμένης στοιβάδας (2).

Με βάση όλες τις παραπάνω παρατηρήσεις, καθώς και τη μελέτη της βαθυμετρίας του κόλλου της Κεφάλου, ορίστηκε το πιθανό όριο του καλδερικού βυθίσματος (Εικ. 5). Το όριο προς τα ανατολικά είναι εντελώς υποθετικό. Προς τα δυτικά χαρακτήθηκε παίρνοντας υπόψη τις



Εικ. 4. Συνθετική στρωματογραφική στήλη πυροκλαστικών Κεφάλου (Α) και διαγράμματα: MdΦ ολικών αποθέσεων (Β), MdΦ λιθικών θραυσμάτων (C), ποσοστού λιθικών (D), ποσοστού στάχτης διαμέτρου <2mm (E).

Fig. 4. Composite stratigraphic column of Kefalos pyroclastics (A) and diagrams: MdΦ of total deposits (B), MdΦ of lithic fragments (C), lithics fraction (D), ash fraction with diameter <2mm (E).



Εικ. 5. Στοιχεία εντοπισμού του ηφαιστειακού πόρου: Συνεχής γραμμή και κουκκίδες: Ακτογραμμή. Συνεχής γραμμή: Ορια εμφάνισης πυροκλαστικών Κεφάλου. Συμπαγείς κύκλοι: Σημεία μετρήσεων πάχους ορίζοντα πτώσης. Διακεκομμένες γραμμές: Ισοπαχείς ορίζοντα πτώσης (σε cm). Ρόμβοι: Εμφάνιση αποθέσεων πυρακτωμένης στοιβάδας. Βέλη: Διευθύνσεις ροής πυροκλαστικών ρευμάτων και μεγακαυματικών αποθέσεων. Τρίγωνα: Κύριες εμφανίσεις λατυπών επιβράδυνσης. Αστρο: Πιθανή θέση ηφαιστειακού πόρου. Οδοντωτή γραμμή: Πιθανό όριο καλδέρας Κεφάλου.

Fig. 5. Vent location data: Continuous line and points: Shoreline. Continuous line: Limits of outcrops of Kefalos pyroclastics. Full cycles: Sites of fall layer thickness measurements. Dashed line: Isopachs of the fall layer (in cm). Arrows: Flow direction of the pyroclastic flow and surge deposits. Diamonds: Hot avalanche outcrops. Triangles: Main lag breccias outcrops. Star: Probable vent area. Notched line: Probable caldera limits.

έντονες ασυμφωνίες που υπάρχουν μεταξύ των πυροκλαστικών αποθέσεων και του υποβάθρου. Από τη λεπτομερή παρατήρηση των επαφών αυτών προκύπτει ότι ορισμένες τουλάχιστον οφείλονται σε συνεκρηκτικά τεκτονικά γεγονότα, παρατήρηση που στηρίζει την υπόθεση ότι μία δυτική απόληξη του συνεκρηκτικού καλδερικού βυθίσματος είναι ορατή σήμερα στο ΝΔ άκρο της λεκάνης της Κεφάλου.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σύμφωνα με τις παρατηρήσεις υπαίθρου, την κατακόρυφη και πλευρική κατανομή των πυροκλαστικών αποθέσεων, τα κοκκομετρικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά των πυροκλαστικών συστατικών συνάγονται τα παρακάτω:

- Στην περιοχή της Κεφάλου πραγματοποιήθηκε σειρά δυναμικών ηφαιστειακών εκρήξεων. Η κύρια ηφαιστειακή δραστηριότητα είναι υδρομαγματική και μόνο στο τελικό στάδιο εξωθητική.

- Το σύνολο των εκρηκτικών παροξυσμικών φάσεων πραγματοποιήθηκε σε διάστημα λίγων ωρών ή ημερών (χαρακτηριστική απουσία επιφανειών διάβρωσης και παλαιοεδαφών μεταξύ των πυροκλαστικών αποθέσεων).

- Το σημείο εκπομπής των εκρήξεων προσδιορίζεται στη θάλασσα, στο κέντρο του κόλπου της Κεφάλου. Στο χώρο αυτό προϋπήρχε μία αβαθής λεκάνη εντός της οποίας είχε συσσωρευτεί μεγάλη ποσότητα κροαλών του προεκρηκτικού υποβάθρου. Στη λεκάνη αυτή έχουμε έντονη υδροθερμική δραστηριότητα που εξαλλοιώνει τις συγκεντρωμένες κροάλες. Αυτές εκτινάσσονται από την εκρηκτική δραστηριότητα και αποτίθενται σαν λατύπες επιβράδυνσης.

- Η αρχική εκρηκτική διάνοιξη του ηφαιστειακού πόρου αποθέτει ένα λατυποπαγές έκρηξης χωρίς τη συμμετοχή νεανικού μάγματος. Περιορισμένες μαγματικές μάζες, οι οποίες ανέρχονται σε αβαθές θαλάσσιο ή λιμναίο περιβάλλον, ψύχονται απότομα επιφανειακά εγκλείοντας στο εσωτερικό τους μεγάλες ποσότητες νεανικών αερίων. Η παραπέρα συσώρευση αερίων οδηγεί σε εκτόνωση και θρυμματοποίηση του ημίρευστου μαγματικού σώματος που οδηγεί στην εναπόθεση της κατώτερης μονογενικής πυροκλαστικής στοιβάδας.

- Η διάνοιξη του ηφαιστειακού πόρου προκαλεί εισροή σχετικά περιορισμένων ποσοτήτων θαλασσινού νερού εντός αυτού. Η αλληλεπίδραση του ανερχόμενου μάγματος με το νερό μεταβάλλει τον τύπο της ηφαιστειακής δραστηριότητας σε υδρομαγματικό. Το νεανικό μάγμα και τα τοιχώματα του ηφαιστειακού αγωγού, στο σημείο επαφής νερού/μάγματος, θρυμματοποιούνται. Το ηφαιστειακό νέφος πλούσιο σε στάχτη και λιθικά εγκατακρημνίζεται εναποθέτοντας διαδοχικά στρώματα πυροκλαστικών ροών. Το μεγαλύτερο μέρος των εκτινασσόμενων υλικών καταπίπτει κοντά στον ηφαιστειακό πόρο και τον απομονώνει προσωρινά από το νερό. Εκρηξη που προκαλείται από τα μαγματικά αέρια εναποθέτει τον ορίζοντα 4 (κίσηρη πτώσης).

- Η ηφαιστειακή δραστηριότητα καθίσταται στη συνέχεια έντονα εκρηκτική. Η ενεργοποίηση ρηγμάτων Β.ΒΔ-Ν.ΝΑ και Α.ΒΑ-Δ.ΝΔ διεύθυνσης διευρύνει τον ηφαιστειακό πόρο προκαλώντας απότομη εισροή μεγάλων ποσοτήτων νερού. Ο λόγος νερού/μάγματος άρα και ο βαθμός εκρηξιμότητας λαμβάνουν τις μέγιστες τιμές. Η θρυμματοποίηση του νεανικού μάγματος είναι ολική και γίνεται σε συνεχώς αυξανόμενα βάθη. Εναποτίθενται μεγάλου πάχους μεγακυματικές αποθέσεις.

- Στη συνέχεια η ηφαιστειακή δραστηριότητα εντοπίζεται κύρια στο ΝΔ περιθώριο του κεντρικού βυθίσματος που δημιουργήθηκε από τις διαδοχικές εκρήξεις της Κεφάλου. Η εκρηκτική διαδικασία είναι κύρια υδρομαγματική. Οικοδομείται ένας κώνος τόφων, κύρια από έντονα θρυμματοποιημένο νεανικό ρυολιθικό μάγμα, τμήμα του οποίου υφίσταται περλιτοποίηση στην επαφή με το επιφανειακό νερό.

- Η εξάντληση των υπόγειων ταμειευτήρων οδηγεί το υπόλοιπο υψηλού ιξώδους ρυολιθικό μάγμα στην επιφάνεια μέσω ρηγμάτων Β.ΒΔ-Ν.ΝΑ. Οικοδομείται ο θόλος Ζινί.

- Τα σημερινά τοπογραφικά περιθώρια της λεκάνης της Κεφάλου (διάμετρος 3.5 χλμ) δεν αντιπροσωπεύουν το αρχικό καλδερικό βύθισμα. Τμήμα μόνον αυτού μπορεί να παρατηρηθεί στο ΝΔ άκρο της λεκάνης.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- BARDINTZEFF, J.M. (1985). Calc-alkaline nuees ardentes: A new classification. *Journal of Geodynamics*, 3, 303-325.
- BARDINTZEFF, J.M. et MISKOVSKY, J.C. (1984). Identite granulometrique de tephra. *Bulletin de l'Association Francaise pour l'etude du Quaternaire*, 4, 221-231.
- BELLON, H., JARRIGE, J.J. et SOREL, D. (1979). Les activites magmatiques egeennes de l'Oligocene a nos jours et leurs cadres geodynamiques Donnees nouvelles et synthese. *Revue de Geologie dynamique et de Geographie Physique*, 21, 41-55.
- BESENECKER, H. and OTTE, O. (1978). Late Cenozoic sedimentary history and paleogeography of KOS, Aegean Sea. In VI colloq. on the geology of the Aegean region
- BOVEN, A., BROUSSE, R., et DALABAKIS, P. (1987). Geological and geo-chronological evidences on the evolution of KOS-JALINISYROS eruptive centres, Aegean arc, Greece. *EUG, Strasbourg*
- BOΥΓΙΟΥΚΑΛΑΚΗΣ, Γ., ΣΗΜΑΙΑΚΗΣ, Κ. & ΧΙΩΤΗΣ, Ε. (1991). Γεωθερμική έρευνα στη νήσο Κω. Συμπεράσματα και προτάσεις. Έκθεση ΙΓΜΕ (υπό έκδοση).
- DALABAKIS, P. (1986). Une de plus puissantes eruptions phreatomagmatiques dans la Mediterranee orientale: l'ignimbrite de KOS. *C. R. Acad. Sc. Paris*, T303, serie II, n°6.
- DALABAKIS, P. (1988). Le volcanisme recent de l'ile de KOS (Grece). These de l'universite Paris-Sud, Orsay, 350pp.
- DESIO, A. (1931). Le isole italiane dell'Egeo. *Mem. Descr. Cart. Geol. Ital.*, XXIV, 24, 534pp.
- DRUITT, T.H. (1985). Vent evolution and lag breccia formation during the Cape Riva eruption of Santorini, Greece. *J. Geol.* 93, 439-594
- FISHER, R.V. (1964). Maximum size, median diameter, and sorting of tephra. *J. Geophys. Res.*, 69, 341-355.
- HEIKEN, G. (1971). Tuff rings: Examples from the Roch-Christmas Lake Valley Basin, South-Central Oregon. *J. Geophys. Res.*, 76, 5615-5626.
- INMAN, D.L. (1952). Measures of describing the size distribution of sediments. *J. Sediment. Petrol.*, 22, 125-145.
- JARRIGE, J.J. (1978). Etudes neotectoniques dans l'arc volcanique egeen. Les iles de Kos, Santorin et Milos. These 3eme cycle. Universite Paris-Sud, 250pp.
- KELLER, J. (1980). Prehistorics Pumice tephra on Aegean islands. In *Thera and the Aegean World*, vol 2, 49-56.
- KELLER, J. (1982). Mediterranean island arc. In *Andesites*, R.S Thorpe ed., 307-325.
- KELLER, J., REHREN, TH. & STADLBAUER, E. (1990). Explosive Volcanism in the Hellenic Arc: a Summary and Review. In *Thera and the Aegean World III*, vol. 2: Earth Sciences, 13-26.

- SIMEAKIS, K. & VOUGIOUKALAKIS, G. (1991). Neotectonic study of the W. Kos area. (in prep.)
- SPARKS, R.S. (1976). Grain size variations in ignimbrites and implications for transport of pyroclastic flows. *Sedimentology*, 23, 147-188.
- STADLBAUER, E., BOHLA, M. and KELLER, J. (1986). The Kos-plateau-Tuff (Greece): A major ignimbrite eruption that crossed the open sea. In *Int. symposium of Volcanology, N. Zeland.*
- THORARINSSON, S. (1954). The eruption of Hekla 1947-48, part 2, Ch.3, The tephra-fall from Hekla on March 29, 1947. *Soc. Sci. Islandica, Reykjavik*, 1-68.
- ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΗΣ, Ε. (1991). Φύλλα γεωλογικού χάρτη 1:50,000 Α. και Δ. Κω. ΙΓΜΕ (υπό έκδοση).
- WALKER, G.P.L., and CROASDALE, R. (1971). Two plinian-type eruptions in the Azores. *J. Geol. Soc. London*, 127, 17-55.
- WOHLETZ, K.H. and SHERIDAN, M.F. (1983). Hydrovolcanic explosions II. Evolution of basaltic tuff rings and tuff cones. *American Journal of Science*, 283, 385-413.